

# Exercices sur l'effet Doppler

## Exercice 1

Nous nous intéressons dans un premier temps au changement de fréquence associé au mouvement relatif d'une source sonore. S et d'un détecteur placé au point M (figure 1). Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre dans lequel le détecteur est immobile. Une source S émet des bips sonores à intervalle de temps régulier dont la période d'émission est notée  $T$ . Le signal sonore se propage à la célérité  $v_{son}$  par rapport au référentiel terrestre.

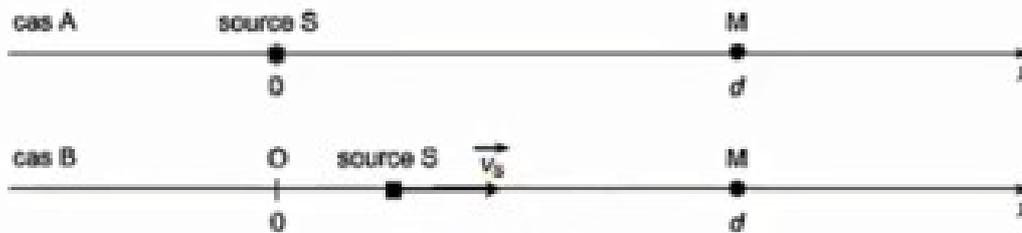


Figure 1. Schéma représentant une source sonore immobile (cas A), puis en mouvement (cas B).

Cas A: la source S est immobile en  $x = 0$  et le détecteur M situé à la distance  $d$  perçoit chaque bip sonore avec un retard lié à la durée de propagation du signal.

- Définir par une phrase en utilisant l'expression "bips sonores" la fréquence  $f_0$  de ce signal périodique.
- Comparer la période temporelle  $T$  des bips sonores perçus par le détecteur à la période d'émission  $T_0$ .

Cas B: la source S initialement en  $x = 0$  se déplace à une vitesse constante  $\vec{v}_s$  suivant l'axe Ox en direction du détecteur immobile. La vitesse  $v_s$  est inférieure à la célérité  $v_{son}$ . On suppose que la source reste à gauche du détecteur.

Le détecteur reçoit alors les différents bips séparés d'une durée  $T' = T_0 \left(1 - \frac{v_s}{v_{son}}\right)$

- ➔ Indiquer si la fréquence  $f$  des bips perçus par le détecteur est inférieur ou supérieur à la fréquence  $f_0$  avec laquelle les bips sont émis par la source S. Justifier.

## Exercice 2 : Effet Doppler en médecine

La médecine fait appel à l'effet Doppler pour mesurer la vitesse d'écoulement du sang dans les vaisseaux sanguins (figure 2),

Un émetteur produit des ondes ultrasonores qui traversent la paroi d'un vaisseau sanguin. Pour simplifier, on suppose que lorsque le faisceau ultrasonore traverse des tissus biologiques, il rencontre :

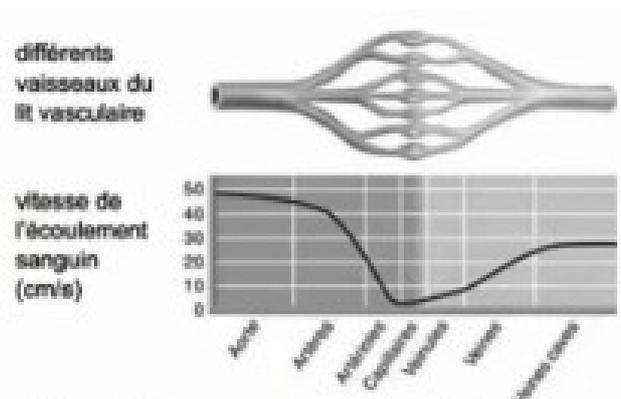


Figure 2. Vitesse moyenne du sang dans différents vaisseaux sanguins.

©2011 Pearson

- des cibles fixes sur lesquels il se réfléchit sans modification de la fréquence

- des cibles mobiles comme les globules rouges du sang sur lesquels il se réfléchit avec une modification de la fréquence ultrasonore par effet Doppler.(figure 3)

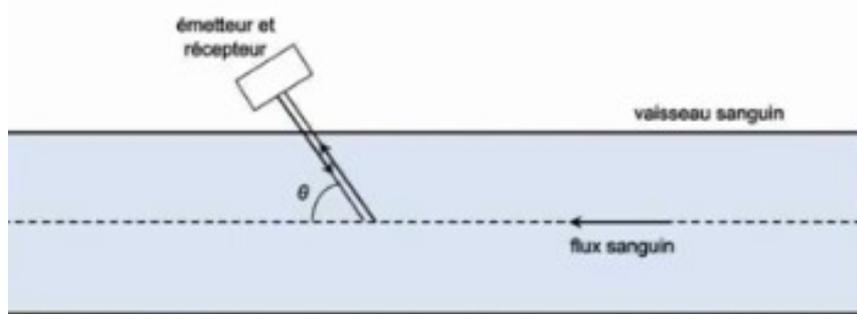


Figure 3. Principe de la mesure d'une vitesse d'écoulement sanguin par effet Doppler (échelle non respectée).

L'onde ultrasonore émise de fréquence de fréquence  $f_E = 10\text{MHz}$  , se réfléchit sur les globules rouges qui sont animés d'une vitesse  $v$  . L'onde réfléchie est ensuite détectée par le récepteur.

La vitesse  $v$  des globules rouges dans les vaisseaux sanguins est donnée par la relation  $v = \frac{v_{ultrason} \Delta f}{2 \cos \theta f_E}$

où  $\Delta f$  est le décalage en fréquence entre l'onde émise et l'onde réfléchie.

$v_{ultrason}$  la célérité des ultrasons dans le sang et  $\theta$  l'angle défini sur la figure 3

on donne  $v_{ultrason} = 1,57 \cdot 10^3 \text{m/s}$  et  $\theta = 45^\circ$

a- Le décalage en fréquence mesuré par le récepteur est 1,5kHz. Identifier les types de vaisseaux sanguins dont il pourrait s'agir.

b- Pour les mêmes vaisseaux sanguins et dans les mêmes conditions de mesure on augmente la fréquence des ultrasons émis  $f_r$  . Indiquer comment évolue le décalage en fréquence. Justifier.

### Exercice 3 : Cinémomètre Doppler

Ce type d'appareil utilise une onde électromagnétique monochromatique . Il comprend essentiellement un émetteur qui génère une onde de fréquence  $f_0 = 24,125\text{GHz}$  , un récepteur qui reçoit cette onde après réflexion sur la cible et une chaîne de traitement électronique qui compare le signal émis et le signal reçu.

Si la cible visée a une vitesse non nulle par rapport au cinémomètre , l'appareil produit un signal périodique dont la fréquence appelée fréquence Doppler est proportionnelle à la vitesse de la cible.

Données :

- Relation en première approximation entre la fréquence Doppler et la vitesse de la cible

$$f_D = 2f_0 \frac{v_r}{c}$$

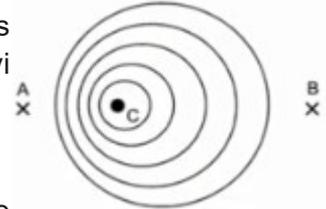
$f_D$  fréquence Doppler ;  $f_0$  fréquence de l'émetteur ;  $v_r$  vitesse relative de la cible ;  $c$  vitesse de la lumière dans le vide

- célérité de l'onde électromagnétique dans le vide ou dans l'air  $c = 3.10^8 \text{ m/s}$

1- Les cinémomètre Doppler utilisent l'effet Doppler . Expliquer en quelques lignes en quoi consiste ce phénomène.

Un cinémomètre immobile est utilisé pour mesurer la vitesse d'une cible qui s'approche de lui. Les ondes électromagnétiques émises sont réfléchies par la cible avant de revenir au cinémomètre.

2- La figure ci-contre modélise de manière très simplifié l'allure des ondes réfléchies par cette cible notée C. Déterminer en exploitant le raisonnement suivi si le cinémomètre Doppler est situé au point A ou au point B.



3- Un cinémomètre Doppler est utilisé pour mesurer la vitesse des balles de tennis lors des principaux tournois internationaux comme celui de Roland Garros . Au cours de ce tournoi , lors d'un service l'appareil mesure une fréquence Doppler de valeur  $f_D = 7416 \text{ Hz}$ .

3,1 calculer la valeur de la vitesse de cette balle

3,2 ce résultat est-il cohérent avec celui affiché sur la photographie ci-dessous prise lors de ce service



## Réponses

### Exercice 1

#### Cas A

- Fréquence  $f_0$  est le nombre d'évènements par seconde ou nombre de période par seconde., et l'évènement c'est le bip sonore. Donc la fréquence  $f_0$  c'est le nombre des bips sonores par seconde.
- S immobile donc pas d'effet Doppler. La période  $T =$  la période d'émission  $T_0$ . Et  $f_r = f_0$ .

#### Cas B

La source S se rapproche du détecteur et  $T' = T_0 \left(1 - \frac{v_S}{v_{son}}\right)$  or  $f = \frac{1}{T'}$  et  $f_0 = \frac{1}{T_0}$

donc  $\frac{1}{T'} = \frac{1}{T_0 \left(1 - \frac{v_S}{v_{son}}\right)}$  d'où  $f' = f_0 \frac{1}{\left(1 - \frac{v_S}{v_{son}}\right)}$  et  $v_S < v_{son}$  puis  $0 < \frac{v_S}{v_{son}} < 1$

automatiquement  $f' > f_0$  . c'est le cas du rapprochement.  $f_{re\grave{c}ue} > f_{emise}$

### Exercice 2

a-  $\Delta f = 1,5\text{kHz} = 1500\text{Hz}$   $v = \frac{v_{ultrason} \Delta f}{2 \cos \theta f_E} = \frac{1570 \times 1500}{2 \cos 45^\circ \times 10 \cdot 10^6} = 0,17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 17 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$

le sang se déplace dans le vaisseau sanguin à  $17\text{cm/s}$  et on se réfère sur la figure 2, on voit que pour une valeur de 17 il y a deux possibilités à la lecture en abcisse soit artériole soit veine.

b- on augmente  $f_E$  pour un même vaisseau sanguin ( artériole ou veine)., comment évolue  $\Delta f$

$v = \frac{v_{ultrason} \Delta f}{2 \cos \theta f_E} \rightarrow v \times 2 \cos \theta f_E = v_{ultrason} \times \Delta f$  on voit que  $f_E$  est proportionnelle à  $\Delta f$  donc si la

fréquence émise augmente, alors le décalage en fréquence augmente aussi.

### Exercice 3

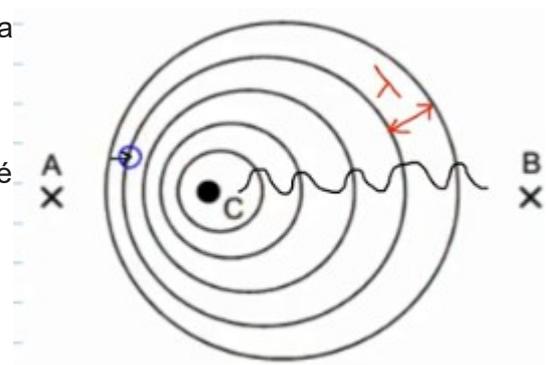
1- C'est une modification de la fréquence reçue par rapport à la fréquence émise

2- Les cercles représentent la perturbation des ondes émises.

Les longueurs d'onde des perturbations sont espacés du côté de B mais plus serré du côté de A.

Du côté de A ,  $\lambda$  diminue

Du côté de B,  $\lambda$  augmente



Il nous faut relier  $\lambda$  à la fréquence, puisque rapprochement la fréquence augmente, éloignement la fréquence diminue.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \lambda \text{ inversement proportionnelle à la fréquence}$$

donc en A il y a rapprochement et en B il y a éloignement.

Or la cible rapproche le radar donc le cinémomètre est situé au point A.

3- la fréquence Doppler  $f_D = 7416\text{Hz}$        $f_D = 2f_0 \frac{v_r}{c} \rightarrow v_r = \frac{f_D \times c}{2f_0}$

AN :  $v_r = \frac{7416 \times 3 \cdot 10^8}{2 \cdot 24,125 \cdot 10^9} = 46,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$       conversion en km/h       $46,1 \times 3,6 = 166 \text{ km/h}$  cohérent à la photographie.